

УДК 621.315.592

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗОТИПНЫХ
ГЕТЕРОПЕРЕХОДОВ n-InSe<PЗЭ>/n-CuInSe₂****АБДИНОВ А.Ш., БАБАЕВА Р.Ф.* , РЗАЕВ Р.М.* , ЭЙВАЗОВА Г.Х.***Бакинский Государственный Университет,*** Азербайджанский Государственный Экономический Университет*

Методом посадки на оптический контакт созданы изотипные гетеропереходы на основе n-CuInSe₂ и легированных различными (Cd, Ho и Dy) редкоземельными элементами (PЗЭ) n-InSe. Оказалось, что ход кривых ВАХ, значение и стабильность отдельных параметров и характеристик этих переходов зависят от N_{PЗЭ}, а не от материала PЗЭ. Наиболее стабильные характеристики и параметры обеспечиваются при N_{PЗЭ} ≈ 10⁻¹ ат %.

Полученные результаты объяснялись на основе зависимости степени упорядоченности кристаллов n-InSe<PЗЭ> от N_{PЗЭ}. При этом учитывались также возможности осуществления стимуляции проводимости электрическим полем, режима токов, ограниченных объемными зарядами, а также проявление переключения в высокоомных слоях n-InSe<PЗЭ>.

Проблема, связанная с созданием преобразователей солнечной энергии в электрическую, представляет огромный интерес из-за целого ряда причин, к числу которых помимо не истощенности запаса солнечной энергии, входят также исключение необходимости трудоемких и дорогостоящих процессов, связанных с перевозкой топлива к преобразователю и передачей выработанной электроэнергии к месту нахождения потребителей. Весьма заманчивым является и экологически чистое превращение в электричество и тепло энергии солнечных лучей. Сейчас уже вполне обосновано на солнечную энергетику возлагаются большие надежды и резко возросла интенсивность теоретических и прикладных разработок в области преобразователей энергии солнечного излучения в электрическую.

Среди физических способов преобразования энергии солнечного излучения в электрическую наиболее перспективным оказался фотоэлектрический. Этот метод уже почти полвека успешно применяется для создания надежных источников электроэнергии на борту космических аппаратов. В сравнительно последние годы он нашел применение и в области создания локальных источников электроэнергии при наземных условиях.

Следует отметить, что солнечные батареи еще сравнительно дороги относительно других источников электроэнергии, однако путем применения различных способов, в частности, созданием матричных фотопреобразователей, способных эффективно преобразовывать солнечное излучение сверхвысокой плотности, уже обеспечивается резкое снижение стоимости получаемой электроэнергии за счет использования дешевых концентраторов.

Как и в других энегопреобразователях, в солнечных преобразователях главной проблемой является повышение коэффициента полезного действия (к.п.д.). Естественно, что к.п.д. солнечного преобразователя будет больше, когда большая часть спектра солнечного света будет участвовать в процессе генерации носителей тока – чем шире спектральная характеристика фотоэлемента. Исходя из этого, все время идет поиск полупроводниковых материалов с более широким спектром чувствительности, применя-

ются различные способы повышения селективности оптических поверхностей преобразователей солнечной энергии (отражающую поверхность концентратора, приемную поверхность фотопреобразователя и теплоизлучающую поверхность радиатора – охладителя). Однако, фотоэлемент из любого материала не имеет такой широкой спектральной характеристики. Поэтому обычно выбираются или изыскиваются материалы, фотоэлемент из которого имеет максимум на спектральной характеристике фоточувствительности, совпадающей с положением части спектра, на которую приходится максимум солнечного излучения при земной поверхности.

В этом аспекте достаточно перспективными материалами оказались также монокристаллы $n\text{-CuInSe}_2$ [1] и $n\text{-InSe}$ [2]. По ширине спектральной чувствительности в отношении к солнечному излучению эти материалы не уступают Si и $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Кроме того, в ранних работах [2-4] показана возможность увеличения ширины спектральной чувствительности монокристаллов $n\text{-InSe}$ относительно солнечного излучения различными способами, в том числе, легированием примесями редкоземельных элементов (РЗЭ) типа гадолия (Gd), гольмия (Ho) и диспрозия (Dy). Также известно, что расширить спектральную характеристику фотоэлемента можно и путем использования для его создания гетероперехода [5].

В представленной работе нами сообщается об электрических свойствах, созданных методом посадки на оптический контакт [6] изотипных гетеропереходов $n\text{-InSe}\langle\text{РЗЭ}\rangle/n\text{-CuInSe}_2$.

Исследуемые гетеропереходы изготовлены на основе монокристаллов $n\text{-InSe}\langle\text{РЗЭ}\rangle$ с $N_{\text{РЗЭ}}=0; 10^{-5}; 10^{-4}; 5\cdot 10^{-3}; 10^{-2}; 10^{-1}$ ат.% и $n\text{-CuInSe}_2$, полученные методом медленного охлаждения, при постоянном градиенте температуры вдоль слитка [7] и методом Бриджмена [8] соответственно. Концентрация свободных электронов в использованных кристаллах $n\text{-InSe}\langle\text{РЗЭ}\rangle$ и $n\text{-CuInSe}_2$, при 300 К составляла $\sim 10^{14}\div 10^{15}$ см^{-3} и $\sim 10^{16}$ см^{-3} соответственно.

Исходя из требований применяемого метода, толщина компонентов $n\text{-InSe}\langle\text{РЗЭ}\rangle$ и $n\text{-CuInSe}_2$ для различных структур варьировалась в пределах $d\approx(10\div 100)$ мкм и $\sim (0,5\div 1,0)$ мм, соответственно, поперечные размеры их составляли $\approx(2\times 3)$ мм².

В качестве материала токовых контактов брались металлический индий, серебряная паста или аквадаг. Омичность полученных токовых контактов проверялась на характеристикографе для каждого изолированного компонента $n\text{-InSe}\langle\text{РЗЭ}\rangle$ и $n\text{-CuInSe}_2$ в отдельности.

Схематическое изображение исследуемых гетероструктур $n\text{-InSe}\langle\text{РЗЭ}\rangle/n\text{-CuInSe}_2$ представлено на рис.1. Контакты, обозначенные со штрихом (1' и 2') играют вспомогательную роль и предназначены лишь для проверки степени омичности рабочих токовых контактов (1 и 2).

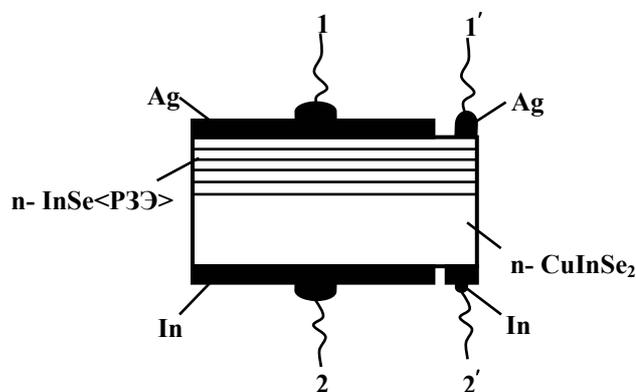


Рис.1 Схематическое изображение изучаемых изотипных гетероструктур $n\text{-InSe}\langle\text{РЗЭ}\rangle/n\text{-CuInSe}_2$.

При температурах 300 К и 77 К снимались кривые статических ВАХ для структур n-InSe/n-CuInSe₂ и n-InSe<PЗЭ>/n-CuInSe₂ в темноте, а также для n-InSe/n-CuInSe₂ при воздействии фоновой подсветки. Оказалось, что при рассмотренных нами случаях для изучаемых гетеропереходов наблюдаются ВАХ, характерные для диодной структуры [9,10]. Они от материала введенной примеси PЗЭ почти не зависят, а определяются лишь его процентным содержанием ($N_{PЗЭ}$). Небольшие отличия результатов, обнаруженных при прочих одинаковых условиях в гетеропереходах, легированных примесями различных PЗЭ, носят численный и не систематический характер.

На рис.2 приведены характерные кривые статических ВАХ гетеропереходов n-InSe<Dy>/n-CuInSe₂ при 300 К (рис.2,а) и 77 К (рис. 2,б). При этом, прямое направление (смещение) в ВАХ соответствует положительному потенциалу на n-InSe<PЗЭ> слое.

Исходя из специфики метода посадки на оптический контакт, можно предполагать, что изучаемые нами изотипные n-InSe<PЗЭ>/n-CuInSe₂ гетероструктуры являются резкими [9, 10]. Согласно энергетической диаграмме таких гетеропереходов, которая соответствует условиям $\chi_1 < \chi_2$ и $\epsilon_{g1} < \epsilon_{g2}$, в них обедненный слой образуется лишь с одной стороны от границы раздела (со стороны полупроводника с меньшей энергетической глубиной залегания уровня Ферми ϵ_f), а с другой стороны (в рассмотренном случае со стороны широкозонного полупроводника) появляется обогащенный слой. Причем толщины этих слоев незначительны (хотя со стороны широкозонного полупроводника больше, чем узкозонного) и падение напряжения приходится, в основном, на широкозонный полупроводник (рис.3). На этой энергетической диаграмме, параметры которой были вычислены нами, или же брались из других работ [2, 11-17], края зон проводимости имеют вблизи границы раздела энергетический «пичок». При этом, если полярность приложенного напряжения такова, что она уменьшает контактную разность потенциалов (U_k), то изотипный гетеропереход считается смещенным в прямом направлении. В рассмотренном нами случае этому направлению соответствует приложение положительного потенциала на n-InSe<PЗЭ> компонент. ВАХ изучаемых гетеропереходов при малых прямых напряжениях (при $U_+ < U_k$, где U_+ - значение прямого напряжения на переходе) хорошо подчиняется экспоненциальному закону, а при $U_+ > U_k$ выходит на линейный участок. При этом, в зависимости от значения $N_{PЗЭ}$ при одинаковых толщинах n-InSe<Dy> слоя величина R_+ меняется в пределах ($10^5 \div 10^8$) Ом при 77К и $R_+ = (10^3 \div 10^5)$ Ом при 300К.

С изменением $N_{PЗЭ}$ меняется также степень стабильности ВАХ. В частности, при $N_{PЗЭ} \leq 0 \div 10^{-3}$ ат.% в обоих направлениях при 77 К, когда приложенное напряжение превышает некоторое критическое ($U_{кр}$) даже при неизменном значении его, ток через изучаемой структуры медленно возрастает. С ростом $N_{PЗЭ}$ это явление сначала (при $N_{PЗЭ} \leq 10^{-5}$ ат.%) усиливается, а далее (при $N_{PЗЭ} > 5 \cdot 10^{-3}$ ат.%) ослабляется и при $N_{PЗЭ} \approx 10^{-1}$ ат.% почти исчезает. Величина $U_{кр}$ зависит как от $N_{PЗЭ}$, так и от температуры. Изменение $N_{PЗЭ}$ заметно влияет также на ход кривых ВАХ изучаемых гетеропереходов. В частности, установлено, что при рассмотренных нами температурах с изменением $N_{PЗЭ}$ наклон кривых статических ВАХ изучаемых гетероструктур меняется (рис.2, кривые 1-5). Причем эта зависимость имеет немонотонный характер. Наиболее стабильные и характерные для диодной структуры ВАХ наблюдаются для гетеропереходов на основе n-InSe<PЗЭ> с $N_{PЗЭ} = 10^{-1}$ ат.%. В этом случае при относительно больших значениях прямых напряжений сопротивление гетероперехода определяется сопротивлением n-InSe<Dy> компонента, а кривые ВАХ после начального экспоненциального и линейного участков, в зависимости от величины U_+ и толщины n-InSe<Dy> слоя (d_{InSe}), подчиняются различным степенным законам. В большинстве случаев для тонких слоев n-InSe<Dy> она имеет вид, характерный для режима токов, ограниченных объемными зарядами ТООЗ [12]. В некоторых образцах, при более высоких значениях приложенного к изучаемой структуре напряжения, на статических ВАХ наблюдается область резкого роста тока с последующим эффектом переключения [18].

тока с последующим эффектом переключения [18].

Наблюдение линейного участка на ВАХ позволяет определить напряжение токовой отсечки (U_0), которое при рассмотренных нами условиях при 300K составляет $\sim (0,25-0,30)$ эВ для гетеропереходов с различной толщиной $n\text{-InSe}\langle\text{Dy}\rangle$ слоя и значением $N_{\text{P3Э}}$. При увеличении $N_{\text{P3Э}}$ значение U_0 в этом интервале меняется не монотонно. Оно наиболее хорошо согласуется со значением контактной разности потенциалов при $N_{\text{P3Э}}=0$ и 10^{-1} ат. %.

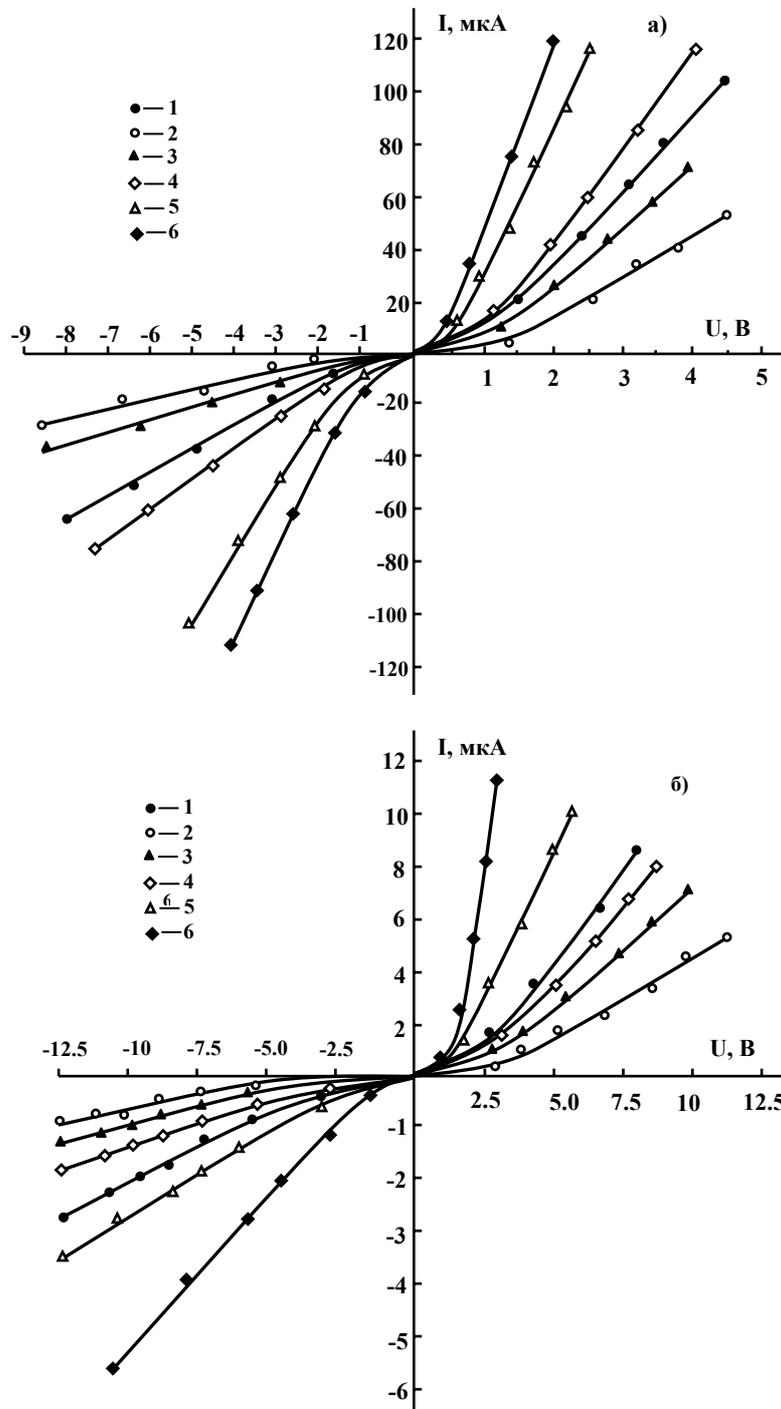


Рис.2. Статические темновые (кривые 1-5) и световая (кривая 6) ВАХ гетероструктур $n\text{-InSe}\langle\text{Dy}\rangle/n\text{-CuInSe}_2$ при $T=300\text{K}$ (а) и $T=77\text{K}$ (б).
 N_{Dy} , ат%, 1,6-0; 2- 10^{-5} ; 3- 10^{-4} ; 4- $3 \cdot 10^{-3}$; 5- 10^{-1} .

При 77 К напряжение токовой отсечки (U_0) для структур n-InSe<Dy>/n-CuInSe₂ составляет ~2,5 В и с ростом $N_{P3Э}$ сначала (при $N_{P3Э} \approx 10^{-5}$ ат.%) даже увеличивается до 3,0 эВ, далее уменьшается и при $N_{P3Э} \approx 10^{-1}$ ат.% падает почти до ~1,5 В. Естественно, что эти найденные для U_0 значения значительно больше, чем значения контактной разности потенциалов для рассмотренных структур.

При обратном смещении ВАХ изучаемых изотипных гетеропереходов n-InSe<Dy>/n-CuInSe₂ при малых значениях обратного напряжения (U) удовлетворительно описывается экспоненциальным выражением. Поскольку при рассмотренных условиях толщина слоя объемного заряда со стороны слоя n-CuInSe₂ вблизи зоны проводимости (рис. 3) совсем незначительна (меньше чем $\sim 10^{-5}$ см), то можно предполагать, что свободные носители тока (электроны) могут перейти через существующий на контакте энергетический «пичок» путем туннелирования. При относительно больших значениях приложенного напряжения, когда туннельное сопротивление перехода становится сравнимым, или же меньше, чем сопротивление слоя n-InSe<Dy> ВАХ изучаемых гетероструктур опять, как и имеющегося место при прямом смещении, выходит на линейный участок.

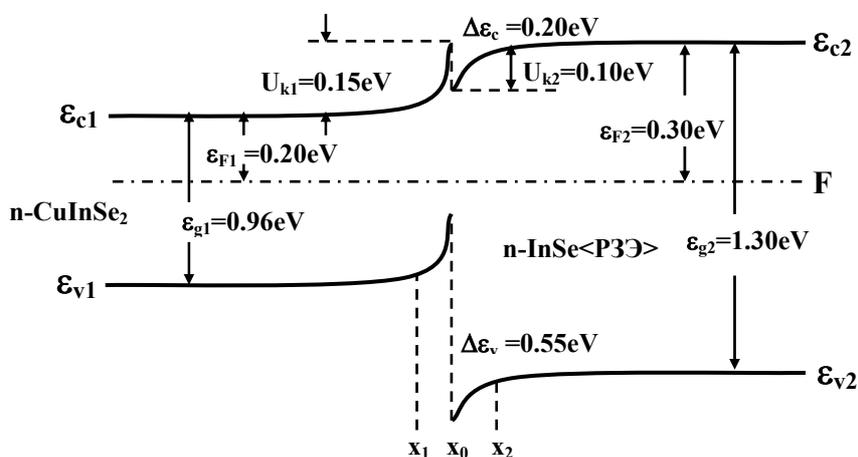


Рис.3. Равновесная энергетическая диаграмма резкого изотипного гетероперехода n-InSe<P3Э>/n-CuInSe₂.

В некоторых структурах при 77 К и более высоких значениях приложенного напряжения в обратном смещении тоже на ВАХ наблюдается сверхлинейный участок роста тока с напряжением. Следует отметить, что поскольку $d_{InSe} \geq 10^{-4}$ см, то можно пренебречь туннелированием носителей через него как в прямом, так и в обратном смещении.

При освещении структур n-InSe<P3Э>/n-CuInSe₂ со стороны слоя n-InSe<P3Э> фоновой подсветкой вследствие резкого роста его проводимости ток через изучаемые гетероструктуры при рассмотренных нами температурах значительно увеличивается (рис.2, кривая б), а значение U_0 уменьшается почти в 2-3 раза и приближается к значению контактной разности потенциалов (U_k). В структурах n-InSe<Dy>/n-CuInSe₂ величина напряжения токовой отсечки оказалась зависимой также от содержания вводимой примеси P3Э. В частности, с ростом $N_{P3Э}$ сначала (при $N_{P3Э} \leq 5 \cdot 10^{-4}$ ат.%) значение U_0 заметно увеличивается, а далее (с ростом $N_{P3Э}$ до 10^{-1} ат.%) уменьшается почти в ~1,5-2,0 раза.

Переходя к обсуждению, прежде всего следует отметить, что обнаруженные в наших измерениях внешний вид и несимметричность статических ВАХ структур n-InSe<P3Э>/n-CuInSe₂ (рис.2) свидетельствуют о возникновении диодной структуры –

резкого изотипного гетероперехода, при посадке на оптический контакт слоев этих материалов при рассмотренных нами условиях.

Нестабильность ВАХ изучаемых гетеропереходов при относительно больших значениях приложенного напряжения, скорее всего может быть обусловлена стимуляцией темновой проводимости электрическим полем за счет инжекции через токовые контакты в пространственно-неоднородном (состоявшим в целом из низкоомной матрицы с хаотическими высокоомными включениями) полупроводнике [12, 19]. Аналогично сказанному в [4], можно предположить, что с ростом $N_{P3Э}$ степень пространственной неоднородности этих кристаллов сначала (при $N_{P3Э} \leq 10^{-4}$ ат.%) увеличивается. Поэтому увеличивается и связанный с ним эффект стимуляции темновой проводимости электрическим полем, что сопровождается большей нестабильностью ВАХ изучаемых гетеропереходов. Это более отчетливо проявляется при относительно низких температурах. При $N_{P3Э} \geq 10^{-4}$ ат.% с ростом содержания вводимой примеси происходит постепенное упорядочение кристаллов n-InSe<P3Э> и, вследствие этого, ослабляется эффект стимуляции проводимости. Это приводит к увеличению степени стабильности ВАХ гетероструктур n-InSe<P3Э>/n-CuInSe₂ с последующим ростом $N_{P3Э}$ от $5 \cdot 10^{-3}$ до $\sim 10^{-1}$ ат.%.

Суперлинейность ВАХ и наблюдение эффекта переключения в обоих направлениях при более высоких значениях приложенного напряжения могут объясняться тем, что при таких значениях приложенное к изучаемым структурам внешнее напряжение почти полностью падает на высокоомных тонких слоях n-InSe<P3Э>, для которых характерны режим ТООЗ и эффект переключения [12, 18].

Зависимость наклона кривых ВАХ в неэкспоненциальной части от $N_{P3Э}$, скорее всего, может объясняться зависимостью степени упорядочения кристаллов n-InSe<P3Э> от содержания вводимой примеси, что, в свою очередь, сопровождается соответствующим изменением сопротивления n-InSe<P3Э> слоя. Этой причиной может объясняться также зависимость значения напряжения токовой отсечки от $N_{P3Э}$. В пользу сказанного свидетельствует также зависимость статических ВАХ и U_0 от воздействий фоновой подсветки (рис.2, кривые б).

Предложенные объяснения позволяют сказать, что на основе легированных P3Э монокристаллах InSe можно создать управляемыми $N_{P3Э}$ параметрами и характеристиками изотипные гетеропереходы. При этом, выбирая оптимальные значения $N_{P3Э}$, можно создать гетеропереходы n-InSe<P3Э>/n-CuInSe₂ с наиболее стабильными параметрами и характеристиками.

1. *Т.Вальтер, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь, Г.В.Шок* Фоточувствительность тонкопленочных солнечных элементов ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂. ФТП, 31, в.7, 806-810, 1997.
2. *А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева, Р.М.Рзаев, Г.Х.Эйвазова.* Сенсibilизация фоточувствительности преобразователей солнечной энергии на основе кристаллов селенида индия. Confer.Proceeding First International conference on Technical and Physical problems in power Engineering, Baku, p.318-321, 2002.
3. *A.Sh.Abdinov, R.F.Babayeva, N.A.Raqimova, R.M.Rzaev, G.H.Eyvazova* Sensitization of IR photosensivity bu electrical field in indium selenide layered crystals. SPIE – The International Society for Optical Engineering, V.5126, 381-386, 2003.
4. *А.Ш.Абдинов, Р.Ф.Бабаева, Р.М.Рзаев, Г.Х.Эйвазова.* К вопросу о фотопроводимости перспективных для солнечной энергетики монокристаллов InSe:Dy. Проблемы энергетики, т.2, в.1, 66-71, 2001
5. *И.Д.Анисимова, И.М.Викулин, Ф.А.Заитов, Ш.Д.Курмашев.* Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра. М. Изд., «Радио и связь», 1984, -216 с.

6. В.Л.Бакуменко, В.Ф.Чишко Электрические свойства оптических контактов слоистых полупроводников. ФТП, 11, в.11, 2000-2202, 1977.
7. А.И.Гусейнов, Т.И.Садыхов. Получение легированных редкоземельными элементами монокристаллов селенида индия. В сб. Электрофизические свойства полупроводников и плазмы газового разряда. Баку, Изд. АГУ, с.42-44, 1989.
8. G.Airoidi, P.Beucherie, C.Rinoldi. Growth and characterization of AgGaSe₂ crystals. – J.Cryst.Growth, 38, p-239-244,1977.
9. Б.Л.Шарма, Р.К.Пурохит. Полупроводниковые гетеропереходы, М.Изд. «Сов. радио», 1979, -327 с.
10. А.Милнс, Д.Фойхт Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник. М. Изд. «Мир», 1975. – 432 с.
11. А.Г.Кязим-заде, В.И.Тагиров, А.Ш.Абдинов, В.К.Мамедов Электрические и фотоэлектрические свойства изотипных гетеропереходов n-InSe-n-CuInSe₂. ФТП, 16, в.2, 353-355, 1982.
12. А.Ш.Абдинов, Я.Г.Гасанов, Ф.И.Мамедов ВАХ высокоомных монокристаллов слоистых соединений А³В⁶. ФТП, 16, в.6, 993-998, 1982.
13. А.Ш.Абдинов, Л.Г.Гасанова, В.К.Мамедов. Край полосы поглощения монокристаллов CuInSe₂. ФТП, 15, в.2245-2247, 1981.
14. А.Ш.Абдинов, А.А.Ахмедов, Я.Г.Гасанов, А.З.Магомедов. Индуцированная собственной подсветкой примесная фотопроводимость в монокристаллах селенида индия со свойствами остаточной проводимости. ФТП, 15, в.7, 1255-1258, 1981.
15. J. Parkes, R.D.Tominson, M.J.Hampshire. Electrical properties of CuInSe₂ single crystals. Solid State Electronics, 16, p.773-777, 1973.
16. А.Ш.Абдинов, В.К.Мамедов, Ю.Г.Нуруллаев. Электрические свойства монокристаллов CuInSe₂. ДАН АзССР, т.36, в.10, 17-20, 1980.
17. А.Ш.Абдинов, А.Г.Кязим-заде, В.К.Мамедов. Об энергетический зонной диаграмме гетеропереходов p-GaSe-n-CuInSe₂. Изв.АН АзССР, ФТ и МН, в.2, 113-116, 1980.
18. Г.А.Ахундов, А.Ш.Абдинов, Н.М.Мехтиева, А.Г.Кязим-заде. Эффект переключения в InSe. ФТП, 8, в.11, 2283, 1974.
19. А.Ш.Абдинов, Я.Г.Акперов, В.К.Мамедов, Э.Ю.Салаев. Долговременно-релаксирующая проводимость, возбужденная электрическим полем, в монокристаллах селенидов индия и галлия. ФТП, 15, в.1, 113-119, 1982.

n-InSe<NTE>/n-CuInSe₂ İZOTİP HETEROKEÇİDLƏRİNİN ELEKTRİK XASSƏLƏRİ

ABDİNOV Ə.Ş., BABAYEVA R.F., RZAYEV R.M., EYVAZOVA G.H.

Optik kontakta gətirmək üsulu ilə n-CuInSe₂ və müxtəlif nadir torpaq elementləri (NTE) ilə aşqarlanmış n-InSe<NTE> monokristalları əsasında izotip heterokeçidlər yaradılmış və onların statik VAX-ı tədqiq edilmişdir. Aşkar olunmuşdur ki, həmin heterokeçidlərin statik VAX-ın gedişi, eləcə də bəzi parametrlərinin qiymətlərinin stabillik dərəcəsi nəzərə çarpacaq dərəcədə aşqarların miqdarı (N_{NTE}) ilə təyin olunur, onların materialından isə demək olar ki, asılı deyil. Ən stabil xarakteritiska və parametrlər N_{NTE} ≈ 10⁻¹ at % qiymətində təmin olunur.

Alınmış nəticələr kristalların nizamlılıq dərəcəsinin N_{NTE}-dən asılı olması əsasında izah edilmişdir. İzahatlarda n-InSe<NTE> laylarında elektrik sahəsi ilə stimullaşdırılmış keçiricilik, həcmi yüklərlə məhdudlaşmış cərəyanlar, eləcə də çevrilmə effektinin baş verə bilməsi də nəzərə alınmışdır.

ELECTRICAL PROPERTIES OF ISOTYPE HETEROJUNCTIONS
n-InSe <RE> /n-CuInSe₂

ABDINOV A.SH., BABAEVA R.F., RZAEV R.M., EYVAZOVA G.KH.

By planting method on optical contact are created isotype heterojunctions on the basis of n-CuInSe₂ and doped by various (Cd, Ho and Dy) rare elements (P3Э) of n-InSe. It was shown, that a course of VAC curves, value both stability of separate parameters and characteristics of these junctions depend on N_{RE}, instead of on a RE material. The most stable characteristics and parameters are provided at N_{RE} ≈ 10⁻¹ at %.

The obtained results were explained on the basis of dependence of a modernity degree of n-InSe<RE> crystals on N_{RE}. Thus the opportunities of stimulation realization of a conductivity by an electrical field, mode of currents limited to volumetric charges, and also appearing of switching in high-resistance layers of n-InSe <RE> were taken into account also.